心理科学进展 2018, Vol. 26, No. 6, 1012–1018
Advances in Psychological Science DOI: 10.3724/SP.J.1042.2018.01012

音乐句法的内隐习得及其对图式性期待的影响*

邓 珏[1] 叶一舵[1] 陈言放[2]

([1]福建师范大学心理学院，福州 350000) ([2]厦门大学艺术学院，厦门 361005)

摘 要 音乐句法的习得来源于对音乐图式统计规则的长期抽象，有赖于日常音乐曝光和统计学习能力，其在构建音乐心理词典的过程中发挥着重要作用并影响着音乐图式性期待的形成。音乐句法可在无意识曝光中被内隐习得，而外显的专业训练可能有利于音乐统计学习能力的提升。对 ERAN、N5、mCPS 等音乐句法相关脑电成分进行研究有助于深入了解音乐句法内隐习得的加工机制。在完整音乐结构背景下，考察各音乐要素习得之间的交互作用，将使音乐学习实验更具生态效度，促进研究成果运用于音乐教学实践。

关键词 内隐习得；音乐句法；统计学习；曝光效应；音乐期待

分类号 B842

1 前言

在聆听音乐时，人们时常有这样的感受：某个音听起来“不舒服”；某个和弦似乎“不协和”；某段旋律“不应该”如此进行等。这种感受是由于音乐图式性期待的违背。音乐图式性期待是在内隐推断基础上对音乐信息的自动预测(郑茂平，2010)，来源于通过曝光而习得的内隐知识库(Trainor & Corrigall, 2010; Hannon & Trainor, 2007)。

这些内隐知识并不是音乐声本身，而是一种被抽象出来的、具有特异性的图式表征，它们以音乐句法为核心，存在于非意识层面(Hodges, 1996/2006; Patel, 2008/2012)的长时记忆中(音乐心理词典, Musical mental lexicon) (Peretz, 1996)，在音乐认知过程中发挥巨大作用，奠定了音乐图式性期待的基础，影响着人们的音乐偏好(Zajonc, 2001)。

目前国内外关于音乐内隐习得的研究较少，本文立足于音乐曝光和统计学习的作用，从音乐句法的内隐习得及其影响因素出发，探讨其对音乐图式性期待的影响。其中，音乐曝光是指人们对环境中音乐信息的被动接触和无意识聆听；统计学习是一种领域一般性的能力(Frost, Armstrong, Siegelman, & Christiansen, 2015)，指的是人们能够无意识检测并学习周围环境中的统计规则(李菲菲，宋晨璐，刘宝根，2017; Batterink, Reber, Neville, & Paller, 2015)。

收稿日期：2017-10-12
* 厦门大学哲学社会科学繁荣计划艺术学院音乐系项目(0120-Y07xXX)。
通信作者：叶一舵, E-mail: yeyiduo@163.com

2 音乐句法的内隐习得及其影响因素

音乐要素(旋律、和弦和声、节拍、节奏等)基于音乐句法规则构成音乐作品，其中，旋律的进行与和弦的连接是音乐句法规则的重要体现(张晶晶，杨玉芳, 2017)。

2.1 旋律句法的内隐习得及其影响因素

旋律是由一系列音符按照特定音高、节奏以及节拍关系构成的音符序列(蒋存梅，2016)，它涉及音高事件的时间序列，表示了音符的开始、持续和休止。人们能够从音乐曝光中习得旋律句法统计特征的观点已经得到了广泛的认可(Loui, Wessel, & Hudson Kam, 2010)。Thompson, Balkwill 和 Vernescu (2000)对被试进行旋律曝光，并对结束音符的旋律延续性进行考察，发现仅仅是内隐意义的曝光就可以让被试习得旋律模式。Szpunar, Schellenberg 和 Pliner (2004)的研究也发现，即便是在新旋律和曝光过的旧旋律高度相似的情况下，被试也更偏爱旧旋律，表现了对旧旋律的内隐习得。那么这种习得效果是否会受到被试已有的大小调听赏习惯的影响呢？

在实验中引入人工音阶可以较好的排除这种影响。Loui 和 Wessel (2008)利用一种与大小调式截然不同的人工音阶(BP-Scale)作为组织实验旋律材料的基础，发现被试可以在大量的旋律曝光之后习得并内化其中的音阶模式。这项研究排除了大小调式的干扰，表明了旋律模式的内隐习得受益于听觉领域的统计学习能力，而与已有的特定调式听赏习惯无关。之后的研究进一步证实，成年被试能够内隐习得未接触过的新音阶和特殊句法构成的旋律，长度可多达 32 个音符，而且能够在测试期间实时习得正在进行的旋律组块(Rohrmeier, Rebuschat, & Cross, 2011)。这暗示了一个强大的学习机制：人们可以通过音乐曝光内隐习得并内化旋律信息中的句法规则。

这一机制也可以通过音乐家与非音乐家之间的对比研究得到一定程度的验证。一项考察音乐层级边界知觉的研究对比了音乐家(受训时间在10年之上)和非音乐家(从未接触过音乐训练)在旋律加工方面的差异(Zhang, Jiang, Zhou, & Yang, 2016)，发现虽然音乐家被试在不同层次的旋律边界诱发了不同强度的 mCPS (反映音乐句法结构认知的一种脑电成分)，但是非音乐家被试在旋律半终止处诱发了一个前侧负波，在全终止处诱发了 mCPS。对 mCPS 的研究也得到了来自跨文化非音乐家被试的证据：中国和德国的非音乐家在乐句结构边界都诱发了 CPS (Nan, Knösche,& Friederici, 2009)。虽然关于 mCPS 的现有研究结果还存在矛盾之处(Knösche et al., 2005)，但是总得来说，无论是音乐家还是非音乐家，在某些任务情况下，听者可以对音乐乐句结构边界进行加工，并在 400~600 ms 的时间窗口出现 CPS 成分(蒋存梅, 2016)。这暗示着没有接受外显训练的非音乐家也具有一定的音乐句法知识，只是这些句法知识以较为内隐和模糊的方式获得和运作。

然而，如果构成旋律的句法发生一般性违规(违反旋律构建的跨文化原则，而不是仅与某种调性规则不同)时，内隐学习就受到了削弱，这表明音乐内隐学习是以人类音乐中那些普遍的、跨文化的规则为基础的 (Loui, 2012)。虽然人们对环境中旋律句法的统计学习不受特定调式的影响，却受制于人类的听觉偏好共性，例如旋律中相邻音高之间以小音程为主(Patel, 2008/2012)。此外，虽有研究发现十二平均律作品的旋律变式(倒置、模进、逆行等)只能被音乐家被试内隐习得(Dienes & Longuet-Higgins, 2004)，但是后续研究比较了偶然学习和有意学习两种条件，发现只有那些被鼓励探索的被试才能习得旋律的变式规则(Kuhn & Dienes, 2006)；该矛盾结果或许是由于音乐家被试在长期的音乐训练中形成了较强的对旋律中句法规则进行抽象的统计学习能力，音乐训练使人们在无意识状态下对听觉环境中规则信息的捕捉更加敏锐。

2.2　和弦的内隐习得及其影响因素

和弦是两个以上同时发声并有特定根音的音高序列，和声指的是和弦序列的进行(Rohrmeier & Rebuschat, 2012)。已有研究证实了和弦序列句法规则可被内隐习得。早在 1987 年, Bharucha 和 Stoekig 就验证了和弦启动在本质上更多是基于对音乐规则和背景的内隐习得。以和弦序列为实验材料考察音乐对情感词判断的启动，发现具有和弦曝光经历的被试的反应时显著快于无和弦曝光经历的被试(Ignacio, 2016)。Jonaitis 和 Saffran (2009)发现被试能够从两种特定句法(大小调和弗吉尼亚调式)的材料中习得和弦转换生成的句法规则；同时也有研究发现了和弦统计学习的效果存在于非西方调性中(Loui, Wu, Wessel, &Knight, 2009)。Bly, Carrión 和 Rasch (2009)进行了相似的研究，发现在人造的、遵循或违反西方全音阶和声规则的和弦序列中都发生了内隐学习。采用八音音阶(一种人工音阶)组织和弦序列作为实验材料，发现音乐家被试在过程分离范式下习得了八音音阶的和声系统；这表明即便和弦进行与被试记忆中已有图式相违背，其句法规则在内隐条件下也可以很快被习得，似乎并不受音乐调性经验和文化背景的影响 (Rohrmeier, 2011)。

然而，Rohrmeier 和 Cross (2010)的另一项研究发现，对违反和声进行规则的材料的记忆成绩要显著低于符合和声进行规则的记忆成绩。这表明和弦序列句法的违规与否会影响其习得，显示了被试长时记忆中音乐图式对和弦刺激习得的增强作用。在一项以先天失歌症患者为被试的研究中发现，当目标和弦播放为主和弦时，被试的正确反应时显著快于目标和弦为非主和弦的情况，而且这种启动效应在正常被试群体中更为显著(Tillmann, Gosselin, Bigand, & Peretz, 2012)，表明和弦序列的内隐习得会受到被试已有音乐图式的

影响：正常被试具有比失歌症者更牢固的和声句法知识，促进了其对和弦序列规则的提取。

通过对比音乐家和非音乐家和弦加工的脑电研究可以发现，音乐家和非音乐家被试都在和弦进行发生违规时产生了 ERAN (违规音乐句法加工的相关脑电成分)效应：非音乐家被试在内隐任务中对位于第 3 位置和第 5 位置的拿波里和弦的加工诱发出了波幅更大的 ERAN (Koelsch, Gunter, Friederici, & Schröger, 2000);音乐家被试和非音乐家被试在和弦序列以重属和弦结尾时也诱发了 ERAN 效应(Koelsch & Sammler, 2008)。虽然音乐家诱发的 ERAN 效应强于非音乐家，但是这些结果也说明了人类一些基本的音乐和声句法知识并不需要通过接受外显的专业训练获得，而是可以在音乐曝光中内隐习得。然而，这些句法知识的内隐习得受到句法难度的调节：有研究对比了不同音乐经验被试在整合和声句法线性结构和嵌套结构上的差异，发现业余者和专业者都能够完成线性结构的整合，且线性结构句法的违反诱发了更大的 ERAN 和 N5(该成分反映了句法整合的难度)；但是嵌套结构句法的整合只有接受过外显训练的专业被试能够完成，音乐专业者能被嵌套结构的句法违反诱发更大的 ERAN 和 N5,普通听众却不能(马谐，杨玉芳，2017)。该结果也在儿童身上得到了验证：有研究以 30 个月的幼儿为被试发现了拿波里和弦诱发的 ERAN 效应(Jentschke, Friederici, & Koelsch, 2014)，但是波幅较小；随着年龄增大，5 岁幼儿的 ERAN 成分就较为清晰(Jentschke, Koelsch, Sallat, & Friederici, 2008)；无论儿童是否接受过音乐训练，违规和弦都诱发了 ERAN，但是受过训练的儿童的 ERAN 效应更强。这些结果不仅显示了和弦句法知识可以通过内隐习得，还表明了音乐训练的作用。但是音乐训练在其中的作用是固化和弦句法知识，还是强化对句法规则的统计学习能力，亦或是二者兼备，值得进一步考察。此外，fMRI 研究也显示出和弦启动过程中参与序列统计学习的脑区——额下回(尤其是 Broca 区)的潜在活动(Ettlinger, Margulis, & Wong, 2011)，这很可能为和声句法的统计学习及其运用的内隐性提供证据，应该进一步验证。

2.3 节奏、节拍的内隐习得及其影响因素

时间是音乐形式存在的载体，节奏(rhythm)和节拍(metre)是音乐的“时间形式”。音乐中相同时间的片段按一定强弱规律作循环重复被称为节拍(罗小平，黄虹，2008)；节奏指的则是音的长、短交替的规律(张前，王次炤，1992)，其中也包含了强弱的变化；速度指的是节拍的速率。被试对节奏、节拍句法的习得本质上是对音乐时间模式的习得。

节奏、节拍作为音乐时间模式的体现，其习得被认为是通过单纯的曝光效应而不是外显的音乐训练，曝光可能是节奏和节拍计量习得的重要来源(Pearce & Christensen, 2012)。Schultz, Stevens, Keller 和 Tillmann (2013)采用修改过的过程分离范式，考察强节奏、弱节奏和无节奏的单音呈现刺激条件下时间模式的学习，发现了脱离相关序列线索的时间模式的内隐习得；也就是说，时间模式在有/无节奏的情况下都可以获得。然而，在有节奏的情况下，被试对强拍音的预期比弱拍音的预期更显著，这表明了节奏对时间模式习得的影响(Rohrmeier & Rebuschat, 2012)。而且，节奏的难度也影响着其内隐习得的效果，研究证实规律性强的节奏更易记忆和复述；个体对规律的敏感性对节奏习得也有影响(Grahn & Schuit, 2012)，这暗示着统计学习在音乐时间模式习得中的作用及其个体差异。在西方音乐中，二拍子和四拍子比三拍子普遍得多，Brochard, Abecasis, Potter, Ragot 和 Drake (2003)证实，当呈现出模糊的刺激时，听众会默认地把刺激划分为二拍子(Ettlinger et al., 2011)。

然而，也有研究发现时间模式加工在音乐家和非音乐家之间的不同：Jongsma, Desain 和 Honing (2004)比较了音乐家和非音乐家在加工 2 拍子和 3 拍子时的差异，发现非音乐家在聆听节奏时诱发了比音乐家更大的 P300，表明了没有接受过音乐训练的被试在节奏加工中耗费了更大的认知资源；而且 3 拍子诱发了比 2 拍子更大的 P300，这似乎说明了音乐训练对不同类型节奏学习的影响。但是，该研究中所观察到的音乐家与非音乐家的差异，或许是因为在日常音乐环境中 3 拍子音乐远远少于 2 拍子，所以 3 拍子音乐对非音乐家来说具有一定的新异性，在聆听初期需要将其整合进原有节拍图式；而 3 拍子对音乐家来说较为常见；故这并不能很好的说明音乐训练对节拍习得能力的影响。而且，已有研究采用序列反应时范式，对比 2-2-4 节拍(符合 4/4 拍)的材料和 2-2-3 节拍(7

拍子)的材料, 发现在两种材料中, 都出现了由于曝光导致的反应时减少以及相应拍击任务成绩的提高, 这表明了不同类型的节拍模式都可以通过曝光而习得, Jongsma 等人(2004)之前所观察到的差异可能并不是音乐训练造成的; 此外, 由于该研究采用的测试和训练刺激的拍子不同, 故得出结论: 被试在节拍习得中抽象的是相对时间模式而不是绝对的时间模式(Tillmann, Stevens, & Keller, 2011)。

而且, 已有研究发现非音乐家中也有一部分人对节奏和节拍规律具有“准音乐家”能力(欧阳玥, 戴志强, 2010), 还有研究通过“声音丢失”实验范式发现了婴儿对节奏强拍丢失诱发了与成人相似的 MMN (失匹配负波) (Honing, Ladinig, Háden, & Winkler, 2009); 这暗示了人们对音乐时间模式的习得能力似乎是天生的, 节奏和节拍的习得更多的受到个体对时间模式先天感受性的影响。据此, 笔者认为人们对音乐中周期性时间规律的习得很大程度上有赖于天生的听觉统计学习能力; 这种能力表现为音乐时间模式的感受性, 影响着个体在音乐曝光环境中对节奏、节拍的内隐习得, 且(相对于旋律、和声句法来说)较少受到音乐外显训练的影响。

3　音乐句法内隐习得与音乐图式性期待的关系

音乐期待在音乐聆听中历来被认为是最主要的心理现象, 分为真实性期待和图式性期待两种类型(郑茂平, 2006): 图式性期待是基于音乐句法知识的自动预测, 这些句法知识是被动建立的, 可能需要很多年; 真实性期待指的是听众对熟悉的音乐作品中特定音乐事件的预期(Guo & Koelsch, 2016)。在音乐认知中, 个体会对音乐事件的发展产生自动化的期待, 这种期待是被“实现”还是被“违反”, 影响着音乐事件之间的张弛关系, 进而激活聆听者自主神经系统反应并影响被试的情绪唤醒度(Egermann, Pearce, Wiggins, & McAdams, 2013)。音乐句法表征是引发聆听者对音乐事件的发展产生图式性期待的最重要因素(马谐, 杨玉芳, 张秋月, 2016), 这些表征是基于大量音乐事件记忆形成的知识库(Schubert & Pearce, 2015), 而且对大多数人而言, 仅仅通过无意识的曝光, 就可以内隐习得这些句法规则知识, 而不需要外显的专业训练(Ettlinger et al., 2011)。

然而, Leman (2000)提出的听觉短时记忆模型(auditoryshort-term memory, ASTM)却认为音乐期待是短时记忆中音高频率(声学信号)不断累加的结果, 是一种自下而上的知觉驱动。但是, 那些在音乐进行中没有多次出现主和弦或主功能音的作品也能诱发听者对主音的期待; 甚至在大量非主功能音之后, 听者对主音的期待更为强烈, 可见音乐期待更受制于强大的内隐图式的影响。对此, Koelsch 和 Sammler (2008)的研究在严格控制了声学相似性的条件下, 发现和弦序列期待的违反诱发了显著的 ERAN 效应, 证实了 ERAN 效应有赖于对音乐图式统计规则的长期习得和抽象, 而不是对某个特定序列的短期暴露。Koelsch, Gunter, Wittfoth 和 Sammler (2005)还考察了没有音乐经验的成人和 10 岁儿童对以拿波里六和弦为终止的句法违规的反应, 发现在左侧前额区域、缘上回区域和颞叶区域, 儿童的激活水平明显低于成人。这表明音乐期待的形成可能有赖于音乐句法长期的内隐习得和积累。后续研究进一步证实, 音乐图式性期待相对于外显音乐事件具有一定的独立性: 即便告知被试检测结束音违规与否, 也只是提前了 ERAN 的峰值时间, 并不影响 ERAN 的波幅, 可见音乐期待是基于牢固的内隐知识产生的, 而且不受实时外显音乐事件的影响, 这也就是为什么在那些我们已经听过的、假终止的音乐作品中, 我们还是会有完全终止的期待(即便我们知道这个终止不会出现) (Guo & Koelsch, 2016)。而且, 即使被试无法在外显层面识别出句法违规, 对预期的和弦、旋律和节奏模式的违反也一样诱发了检测违规的晚正电位成分 LPC (Besson & Faïta, 1995)。Seger 等(2013)的 fMRI 研究也提供了音乐期待基于内隐音乐句法知识的证据: 对比非音乐家被试对正格终止、假终止、调外终止和无调性终止(结束在非大小调式体系的音上)的反应, 发现基底神经节(BG)、双侧额下回(IFG)和颞上回(STG)前部的激活都受到期待违反的显著影响; 而双侧额下回和颞上回前部已被证实与句法加工相关。

尽管音乐图式性期待基于音乐句法产生这一结果得到了诸多佐证, 但在儿童身上却发现了矛盾的结果: James, Cereghetti, Tribes 和 Oechslin (2015)以 10 岁儿童为被试, 发现儿童可以很好检测出违

反期待的和弦(高于随机水平)，但并没有发现句法相关的ERAN和N5成分，而是发现了与语义相关的N400类似的CPN (centro-posterior negativity)。这似乎说明了在儿童期，音乐句法和音乐语义的加工具有一致性，也说明了儿童的音乐期待有可能并不完全基于句法表征。还有研究以老年群体为被试，发现老年人在检测音乐期待违反与否时，诱发了更大的 P200(而且在左半球违规音诱发的P200 波幅更大)；这种 P200 的增强效应也发现在音乐家和非音乐家的对比研究中，而在对非音乐家进行短期训练后，其在听觉任务中诱发的 P200 得到了增强(Halpern et al., 2017)。这暗示了老年人对预期违反具有更强的敏感性，他们可能对音乐期待形成了更强大的网络或更牢固的图式模板，即使在对周围环境的听觉能力下降的情况下，这种对期待违反的检测也能发挥很大的作用。对此，笔者结合对音乐期待的不同解释进行假设：或许音乐期待在早期更多地依赖声学信号累加的知觉驱动，但是随着曝光增多和内隐经验的丰富，音乐句法图式随年龄增长趋于稳定，图式启动在音乐期待中的作用越来越大(且这种音乐句法图式具有文化特异性)。这可能就是为什么许多老年人偏爱具有“年代感”的音乐却排斥新兴流行音乐的原因：特定音乐句法图式越稳固，音乐期待违反的敏感性就越强，对新异音乐风格的顺应就越困难。

4 研究展望

在已有研究中，对不同音乐要素(如旋律、和弦、节奏等)的内隐习得多是分开探讨的，但是此类研究置于音乐整体中的生态效度几许？音乐要素以时间为载体互相交织，具有浓厚的格式塔色彩，例如旋律进行过程中也包含着和声功能的进行，旋律的组织也离不开节奏的变化等。因此，将音乐要素割裂开来的研究设计显然有待改进，聚焦于考察不同要素在音乐习得中的交互作用或许对音乐教学实践更有价值。

其次，已知音乐句法知识可以通过曝光效应和统计学习内隐获得，那么外显的音乐专业训练在促进音乐句法习得和音乐期待形成中究竟发挥着怎样的作用：是对音乐句法知识的固化或外显化？还是强化个体对音乐句法规则的统计学习能力？亦或是二者兼备？这值得进一步考察。

此外，统计学习是一种在多个感觉通道发挥作用的一般能力，但其作为音乐句法内隐习得的重要机制，是有其领域特异性的。考察在音乐记忆中统计学习是如何发挥作用的，以及哪些音乐知识和音乐能力能够在曝光中通过统计学习习得而哪些不能，能使音乐训练更有针对性。

最后，对音乐聆听者神经活动的探究还需要从纵向收集，考察 ERAN、N5、mCPS 等成分与年龄、不同音乐训练经验和音乐文化背景的关系，能为音乐知识的内隐习得提供更直接的证据。对于统计学习、音乐句法违规检测和音乐期待相关脑区的探索，有利于我们为音乐审美活动提供更完整的解释。

参考文献

蒋存梅. (2016). *音乐心理学*. 上海: 华东师范大学出版社.

李菲菲，宋晨璐，刘宝根. (2017). 轻中度智力障碍儿童的视觉统计学习. *中国特殊教育*, (8), 44–49.

罗小平，黄虹. (2008). *音乐心理学* (第 2 版). 上海: 上海音乐学院出版社.

马谐，杨玉芳，张秋月. (2016). 音乐句法的加工. *科学通报*, *61*(10), 1099–1111.

马谐，杨玉芳. (2017). *音乐句法嵌套结构加工的认知神经机制*. 中国心理学会音乐心理学专业委员会(筹)成立大会暨首届学术年会，上海.

欧阳玥，戴志强. (2010). 音乐节拍认知的研究评述. *心理科学进展*, *18*(11), 1692–1699.

张晶晶，杨玉芳. (2017). 音乐句法加工的影响因素. *心理科学进展*, *25*(11), 1823–1830.

张前，王次炤. (1992). *音乐美学基础*. 北京: 人民音乐出版社.

郑茂平. (2006). 音乐知觉期待的研究述评. *心理科学进展*, *14*(6), 866–872.

郑茂平. (2010). 音乐审美期待的心理实质——迈尔期待理论及相关延展研究的心理学解释. *中央音乐学院学报*, (3), 126–136.

Batterink, L. J., Reber, P. J., Neville, H. J., & Paller, K. A. (2015). Implicit and explicit contributions to statistical learning. *Journal of Memory & Language*, *83*, 62–78.

Besson, M., & Faïta, F. (1995). An event-related potential (ERP) study of musical expectancy: Comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology Human Perception & Performance*, *21*(6), 1278–1296.

Bharucha, J. J., & Stoeckig, K. (1987). Priming of chords: Spreading activation or overlapping frequency spectra? *Perception & Psychophysics*, *41*(6), 519–524.

Bly, B. M., Carrión, R. E., & Rasch, B. (2009). Domain-specific learning of grammatical structure in musical and phonological sequences. *Memory & Cognition*, *37*(1), 10–20.

Brochard, R., Abecasis, D., Potter, D., Ragot, R., & Drake, C. (2003). The "Ticktock" of our internal clock: Direct brain evidence of subjective accents in isochronous sequences. *Psychological Science, 14*(4), 362–366.

Dienes, Z., & Longuet-Higgins, C. (2004). Can musical transformations be implicitly learned?. *Cognitive Science, 28*(4), 531–558.

Egermann, H., Pearce, M. T., Wiggins, G. A., & McAdams, S. (2013). Probabilistic models of expectation violation predict psychophysiological emotional responses to live concert music. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience, 13*(3), 533–553.

Ettlinger, M., Margulis, E. H., & Wong, P. C. M. (2011). Implicit memory in music and language. *Frontiers in Psychology, 2*(6), 211.

Frost, R., Armstrong, B. C., Siegelman, N., & Christiansen, M. H. (2015). Domain generality vs. modality specificity: The paradox of statistical learning. *Trends in Cognitive Sciences, 19*(3), 117–125.

Grahn, J. A., & Schuit, D. (2012). Individual differences in rhythmic ability: Behavioral and neuroimaging investigations. *Psychomusicology, 22*(2), 105–121.

Guo, S., & Koelsch, S. (2016). Effects of veridical expectations on syntax processing in music: Event-related potential evidence. *Scientific Reports, 6*, 19064.

Halpern, A. R., Zioga, I., Shankleman, M., Lindsen, J., Pearce, M. T., & Bhattacharya, J. (2017). That note sounds wrong! Age-related effects in processing of musical expectation. *Brain & Cognition, 113*, 1–9.

Hannon, E. E., & Trainor, L. J. (2007). Music acquisition: Effects of enculturation and formal training on development. *Trends in Cognitive Sciences, 11*(11), 466–472.

Hodges, D. A. (2006). *Handbook of music psychology*. San Antonio: IMR Press. (Original work published 1996)

[霍杰斯, D. A. (2006). *音乐心理学手册* (刘沛, 任恺译). 长沙: 湖南文艺出版社.]

Honing, H., Ladinig, O., Háden, G. P., & Winkler, I. (2009). Is beat induction innate or learned?. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*, 93–96.

Ignacio, D. A. (2016). The cognitive effects of musical expectations on affective priming. *Psychomusicology: Music, Mind, & Brain, 26*(4), 358–365.

James, C. E., Cereghetti, D. M., Tribes, E. R., & Oechslin, M. S. (2015). Electrophysiological evidence for a specific neural correlate of musical violation expectation in primary-school children. *NeuroImage, 104*, 386–397.

Jentschke, S., Koelsch, S., Sallat, S., & Friederici, A. D. (2008). Children with specific language impairment also show impairment of music-syntactic processing. *Journal of Cognitive Neuroscience, 20*(11), 1940–1951.

Jentschke, S., Friederici, A. D., & Koelsch, S. (2014). Neural correlates of music-syntactic processing in two-year old children. *Developmental Cognitive Neuroscience, 9*, 200–208.

Jonaitis, E. M., & Saffran, J. R. (2009). Learning harmony: The role of serial statistics. *Cognitive Science, 33*(5), 951–968.

Jongsma, M. L. A., Desain, P., & Honing, H. (2004). Rhythmic context influences the auditory evoked potentials of musicians and nonmusicians. *Biological Psychology, 66*(2), 129–152.

Knösche, T. R., Neuhaus, C., Haueisen, J., Alter, K., Maess, B., Witte, O. W., & Friederici, A. D. (2005). Perception of phrase structure in music. *Human Brain Mapping, 24*(4), 259–273.

Koelsch, S., Gunter, T., Friederici, A. D., & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: "nonmusicians" are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience, 12*(3), 520–541.

Koelsch, S., Gunter, T. C., Wittfoth, M., & Sammler, D. (2005). Interaction between syntax processing in language and in music: An ERP study. *Journal of Cognitive Neuroscience, 17*(10), 1565–1577.

Koelsch, S., & Sammler, D. (2008). Cognitive components of regularity processing in the auditory domain. *PLoS One, 3*(7), e2650.

Kuhn, G., & Dienes, Z. (2006). Differences in the types of musical regularity learnt in incidental- and intentional-learning conditions. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 59*(10), 1725–1744.

Leman, M. (2000). An auditory model of the role of short-term memory in probe-tone ratings. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal, 17*(4), 481–509.

Loui, P. (2012). Learning and liking of melody and harmony: Further studies in artificial grammar learning. *Topics in Cognitive Science, 4*(4), 554–567.

Loui, P., & Wessel, D. (2008). Learning and liking an artificial musical system: Effects of set size and repeated exposure. *Musicae Scientiae the Journal of the European Society for the Cognitive Sciences of Music, 12*(2), 207–230.

Loui, P., Wessel, D. L., & Hudson Kam, C. L. (2010). Humans rapidly learn grammatical structure in a new musical scale. *Music Perception, 27*(5), 377–388.

Loui, P., Wu, E. H., Wessel, D. L., & Knight, R. T. (2009). A generalized mechanism for perception of pitch patterns. *Journal of Neuroscience, 29*(2), 454–459.

Nan, Y., Knösche, T. R., & Friederici, A. D. (2009). Non-musicians' perception of phrase boundaries in music: A cross-cultural ERP study. *Biological Psychology, 82*(1), 70–81.

Patel, A. D. (2012). *Music, language, and the brain*. New York: Oxford University Press. (Original work published

2008)
[帕特尔, A. D. (2012). *音乐、语言与脑* (杨玉芳, 蔡丹超等译). 上海: 华东师范大学出版社.]
Pearce, M. T., & Christensen, J. F. (2012). Conference report: The neurosciences and music-IV—learning and memory. *Psychomusicology, 22*(1), 70–73.
Peretz, I. (1996). Can we lose memory for music? A case of music agnosia in a nonmusician. *Journal of Cognitive Neuroscience, 8*(6), 481–496.
Rohrmeier, M. A., & Cross, I. (2010). Narmour's principles affect implicit learning of melody. In S. M. Demorest (Ed.), *Proceedings of the 11th international conference on music perception and cognition (ICMPC 2010)* (pp. 1–5). Seattle, WA: University of Washington School of Music.
Rohrmeier, M., & Rebuschat, P. (2012). Implicit learning and acquisition of music. *Topics in Cognitive Science, 4*(4), 525–553.
Rohrmeier, M., Rebuschat, P., & Cross, I. (2011). Incidental and online learning of melodic structure. *Consciousness & Cognition, 20*(2), 214–222.
Schubert, E., & Pearce, M. (2015). A new look at musical expectancy: The veridical versus the general in the mental organization of music. In *International symposium on computer music multidisciplinary research* (pp. 358–370). Springer International Publishing.
Schultz, B. G., Stevens, C. J., Keller, P. E., & Tillmann, B. (2013). The implicit learning of metrical and nonmetrical temporal patterns. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, 66*(2), 360–380.
Seger, C. A., Spiering, B. J., Sares, A. G., Quraini, S. I., Alpeter, C., David, J., & Thaut, M. H. (2013). Corticostriatal contributions to musical expectancy perception. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(7), 1062–1077.
Szpunar, K. K., Schellenberg, E. G., & Pliner, P. (2004). Liking and memory for musical stimuli as a function of exposure. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, & Cognition, 30*(2), 370–381.
Thompson, W. F., Balkwill, L. L., & Vernescu, R. (2000). Expectancies generated by recent exposure to melodic sequences. *Memory & Cognition, 28*(4), 547–555.
Tillmann, B., Stevens, C., & Keller, P. E. (2011). Learning of timing patterns and the development of temporal expectations. *Psychological Research, 75*(3), 243–258.
Tillmann, B., Gosselin, N., Bigand, E., & Peretz, I. (2012). Priming paradigm reveals harmonic structure processing in congenital amusia. *Cortex, 48*(8), 1073–1078.
Trainor, L. J., & Corrigall, K. A. (2010). Music acquisition and effects of musical experience. In J. M. Riess, R. Fay, & A. Popper (Eds.), *Music perception* (Vol. 36, pp. 89–127). New York, NY: Springer.
Zajonc, R. B. (2001). Mere exposure: A gateway to the subliminal. *Current Directions in Psychological Science, 10*(6), 224–228.
Zhang, J. J., Jiang, C. M., Zhou, L. S., & Yang, Y. F. (2016). Perception of hierarchical boundaries in music and its modulation by expertise. *Neuropsychologia, 91*, 490–498.

Implicit acquisition of musical syntax and its influence on schema expectation

DENG Jue[1]; YE Yiduo[1]; CHEN Yanfang[2]
([1] *School of Psychology, Fujian Normal University, Fuzhou* 350000, *China*)
([2] *Art College, Xiamen University, Xiamen* 361005, *China*)

Abstract: The acquisition of musical syntax derives from the long-term abstraction of statistical rules of musical schema, which depends on the daily music exposure and statistical learning ability. It plays an important role in the process of constructing musical mental lexicon and influences the formation of musical schema expectation. The musical syntax has been proved to be implicitly learned with unconscious exposure, while explicit professional training may be conducive to the improvement of music statistical learning ability. The researches of the ENAN, N5, mCPS and other musical syntax-related electroencephalograms help to understand the processing mechanism of implicit learning of musical syntax. Therefore, future studies should examine, in the complete music structure, how the acquisitions of various music elements interact to make music learning experiments more ecologically effective and to promote the application of the research results in music teaching practice.

Key words: implicit acquisition; musical syntax; statistical learning; exposure effect; musical expectation